

智能控制及其在足球机器人中的应用

刘晋明

(厦门大学自动化系, 福建 厦门)

【摘 要】 介绍了智能控制的发展历史与现状, 智能控制的主要方法与当前的研究热点以及智能控制发展的前景与展望。同时介绍了各种控制方法在足球机器人领域的应用。

【关键词】 智能控制 传统控制 神经网络 模糊控制 遗传算法 足球机器人

经典控制理论和现代控制理论都是建立在被控对象的精确的数学模型上的控制理论。但是, 实际中的许多复杂系统都具有非线性、不确定性、时变等特点, 难以建立精确的数学模型。因此, 人们开始探索新的控制理论来解决复杂系统的控制。近年来, 把传统控制理论和神经网络、模糊控制、专家系统、遗传算法等相关的理论相结合, 形成了智能控制理论。

1、智能控制的发展历史与现状

智能控制的发展历史可分为 4 个阶段:

第一阶段为智能控制的萌芽阶段 (1965 年以前)

20 世纪 40~50 年代, 以频率法为代表的单变量系统控制理论逐步发展起来, 并且成功地用在雷达及火力控制系统上, 形成了今天所说的“古典控制理论”。1956 年以前, 英国数学家图灵 (A. M. Turing) 为现代人工智能作了大量开拓性的贡献。20 世纪 60~70 年代, 数学家们在控制理论发展中占了主导地位, 形成了以状态空间法为代表的“现代控制理论”, 控制理论建立在严密精确的数学模型之上, 从而造成了理论与实践之间的巨大分歧。1961 年以后, 人工智能主要内容涉及知识工程、自然语言理解等。人们研究人工智能方法也分为结构模拟派和功能模拟派, 分别从脑的结构和脑的功能入手进行研究。20 世纪 70 年代后, 又出现了“大系统理论”。但是, 由于这种理论解决实际问题的能力更弱, 很快被人们放到了一边。

第二阶段为智能控制的发展初期 (1965~1979 年)

建立于严密的数学理论上的控制理论发展受到挫折, 而模拟人类智能的人工智能却迅速发展起来。控制理论从人工智能中吸取营养寻求发展成为必然。工业系统往往呈现高维、非线性、分布参数、时变、不确定性等复杂特征。特别是非线性对控制结果的影响复杂, 控制工程人员很难深入理解, 更谈不上设计出合适的控制算法。不确定性是最难以解决的问题, 也是导致大系统理论失败的根本原因。但是, 对这些问题用工程控制专家经验来解决则往往是成功的。

1965 年, 美国普渡大学的傅京孙

(K. S. Fu) 教授首先提出了学习控制的概念, 引入了人工智能的直觉推理, 提出把人工智能的直觉推理规则方法用于学习控制系统。次年, Mendel 在空间飞行器的学习控制中应用了人工智能技术, 并提出了“人工智能控制”的新概念; 同年, Leondes 和 Mendel 首次使用了“智能控制 (Intelligent Control)”一词, 并把记忆、目标分解等技术用于学习控制系统; 这些反映了智能控制思想的早期萌芽, 被称为智能控制的孕育期。

20 世纪 70 年代关于智能控制的研究是对 60 年代这一思想雏形的进一步深化。1971 年, 傅京孙发表了重要论文, 提出了智能控制就是人工智能与自动控制的交叉的“二元论”思想, 列举 3 种智能控制系统: 人作为控制器、人机结合作为控制器、自主机器人; 1974 年, 英国的 Mamdani 教授首次成功地将模糊逻辑用于蒸汽机控制, 开创了模糊控制的新方向; 1977 年, Saridis 的专著出版, 并于 1979 年发表了综述文章, 全面地论述了从反馈控制到最优控制, 随机控制及至自适应控制、自组织控制、学习控制, 最终向智能控制发展的过程, 提出了智能控制是人工智能、运筹学、自动控制相交叉的“三元论”思想及分级递阶的智能控制系统框架。

第三阶段为智能控制的迅速发展时期 (1980~1991 年)

20 世纪 80 年代, 智能控制的研究进入了迅速发展时期。1984 年, Astrom 发表了论文, 这是第一篇直接将人工智能的专家系统技术引入到控制系统的代表作, 明确地提出了建立专家控制的新概念; 与此同时, Hopfield 提出的 Hopfield 网络及 Rumelhart 提出的 BP 算法为一直处于低潮的人工神经网络的研究注入了新的活力, Kilmer 和 McCulloch 提出 KBM 模型实现对“阿波罗”登月车的控制之后, 人工神经网络再次被引入控制领域, 并迅速得到了广泛的应用, 从而开辟了神经网络控制; 1985 年 8 月, IEEE 在美国纽约召开了第一届智能控制学术讨论会; 1987 年 1 月, 在美国费城由 IEEE 控制系统学会与计算机学会联合召开了第一届智能控制国际会议, 这标志着智能控制作为一门新学科正式建立起来。

第四阶段为智能控制进入新的发展阶段 (1992 年至今)

进入 20 世纪 90 年代, 关于智能控制的研究论文、著作、会议、期刊大量涌现, 应用对象也更加广泛, 从工业过程控制、机器人控制、航空航天器控制到故障诊断、管理决策等均有涉及, 并取得了较好的效果。进入 21 世纪, 智能控制进入新的历史阶段, 控制学科所面临的控制对象的复杂性、环境的复杂性、控制目标的复杂性日益突出, 智能控制的研究提供了解决这类问题的有效手段。

2、智能控制的组成

2.1 人工神经网络

神经网络主要特点是: 自适应功能、具有泛化功能、非线性映射功能、高度并行处理等。由于人工神经网络具有上述优秀的特性, 它对控制界具有极强的吸引力。神经网络对于复杂模型不确定问题的自适应能力和学习能力, 可以用于控制系统的补偿环节和自适应环节; 对任意非线性关系的描述能力, 可以用于非线性系统的辨识和控制; 它的快速优化计算能力可用于复杂控制问题的优化计算; 对大量定性或定量信息的分布式存储能力及并行处理和合成能力, 可用作复杂控制系统中的信息转换接口及对图象信息的处理和利用。

要应用神经网络首先必须确定网络的结构和学习算法。对于一个具体的控制对象选择一个合适的网络拓扑结构, 目前基本上还依赖于经验, 尚没有一种系统的网络结构确定方法。人工神经网络尽管具有学习能力, 但是它无法利用先验知识和专家经验, 而且目前的网络学习速度尚不尽如人意, 单独使用神经网络控制不能满足系统的实时动态要求。

2.2 遗传算法

遗传算法是一种模拟自然选择和遗传机制的寻优程序。它利用复制交叉变异等遗传操作来模拟自然进化, 完成问题寻优。与一般的优化算法相比, 遗传算法具有明显的优点:

a. 遗传算法是对变量的编码进行操作。它是从许多初始点开始进行并行操作, 因而, 可以有效地防止搜索过程中收敛于局部最优解, 而且, 有较大的可能求

得全局最优解。

b. 遗传算法通过适应度函数计算适配值,因而对问题的依赖性较小。它使用的是概率规则,它在解空间使用的是一种启发式搜索,它对于待寻优的函数基本无限制。既不要求函数连续,更不要求可微。既可以是数学解析式所表达的显函数,又可以是映射矩阵甚至是神经网络等隐函数。

c. 具有隐含并行性,可通过大规模并行计算来提高计算速度,有助于大规模复杂非线性问题的优化。近年来遗传算法优化技术有了很大发展,产生了广义遗传算法,并行遗传算法及与其他智能技术相结合的混合遗传算法等,在许多领域获得成功应用。

但是,遗传算法仍然存在很多重要问题需要加以研究。例如:优化问题解的表示,适应度函数的选取,遗传操作算子的改进。另外,遗传算法的收敛性,变异操作的改进隐含并行性研究等问题也亟待解决。在遗传算法的应用里,针对不同的问题还需解决如多目标优化指标遗传算法与其它优化算法的混合应用等。

2.3 模糊控制

模糊控制是模糊逻辑与自动控制的结合。它是从功能上模拟人的推理和决策过程的一种实用控制方法。利用先验知识或专家经验作为控制规则,能够有效地处理模型未知或不精确的控制问题。它无需建模,是一种非线性控制。用万能逼近定理给出了充分的理论依据,即模糊控制器是万能的,可以完成任何非线性控制任务。目前,许多复杂的过程工业系统都是难以建立精确的数学模型,采用传统的控制方法无法实现有效的控制。无需建模的控制方法就显得越来越重要。这样,模糊控制就有了用武之地。

为了使模糊控制系统在出现不确定因素时,仍能保持既定的特性,可以在模糊控制系统中引入自适应,组成自适应模糊控制系统。它包括直接型和间接型两种。前者是用模糊逻辑系统作为控制器语言性的模糊控制规则,可以直接应用于控

制器;后者是用模糊逻辑系统来为控制对象建模,且假设模糊逻辑系统近似地等效于真实的被控对象,这样使描述被控对象的模糊 IF - - - THEN 规则就可以直接的应用于控制。

2.4 专家系统

专家系统是一种基于知识的系统。它主要面向的是各种非结构化问题,尤其能处理定性的启发式或不确定的知识信息,经过各种推理过程达到系统的任务目标。80 年代初,为了克服传统控制理论的缺陷,自动控制领域的学者和工程师开始把专家系统的思想和方法引入控制系统的研究及其工程应用,出现了一种新颖的控制系统设计 and 实现的方法。专家控制它作为基于知识的智能控制有以下两种形式:

(1) 产生式控制系统。产生式规则 IF() THEN() ELSE() 表达,它是人推理中最基础的部分是人工智能的基础。产生式控制系统由综合数据库产生式规则集合库和控制系统三部分组成。

(2) 专家控制系统。专家控制系统则是工程控制论与专家系统结合的产物,其低级形式是专家控制器。它是在原有控制器基础上加入几条专家经验,形成其高级形式为正规的专家控制系统。

由于各种方法都有其不足,所以一般同时采用两种或多种方法,因此就有了模糊神经网络,模糊专家系统,或基于模糊推理和神经网络的专家系统等等。

3、智能控制在足球机器人领域的应用

RoboCup 机器人足球赛最重要的目的是检验信息自动化前沿研究,特别是多主体系统研究的最新成果,交流新思想和新进展,从而更好的推动基础研究和应用基础研究及其成果转化。通过竞赛,各种不同的新思想、新理念和新技术可以得到客观的评价。

机器人足球赛是由硬件或仿真机器人进行的足球赛,比赛规则与人类正规的足球赛类似。硬件机器人足球队的研制涉及计算机、自动控制、传感与感知融合、无线通讯、精密机械和仿生材料等众多学科

的前沿研究与综合集成。仿真机器人足球的研究重点是球队的高级功能,包括动态不确定环境中的多主体合作、实时推理 - 规划 - 决策、机器学习和策略获取等当前人工智能的热点问题。例如:采用强化学习方法和动态规划研究了机器人足球比赛中的足球机器人的踢球动作选择问题[文献 3、4、5];采用人工智能的状态空间表示方法将比赛场上瞬息万变的态势,通过选择少量的有代表性的离散状态构成状态空间,根据系统完成的任务,为机器人确定有限的动作集合,使积累的知识程序化;通过决策系统的正向推理,使每个机器人选择合适的动作[6];将强化学习和 BDI 思维状态模型相结合,形成针对多 Agent 的动态协作模型[7];此外,还有把 BP 神经网络应用于球员的进攻防守的站位、策略、截球等(清华神风队).....所以,机器人足球成为前沿科研竞争和高科技对抗的载体。

无论是现实世界中的智能机器人或机器人团队(如家用机器人和军用机器人团队),还是网络空间中的软件自主体(如用于网络计算和电子商务的各种自主软件以及它们组成的“联盟”),都可以抽象为具有自主性、社会性、反应性和能动性的“自主体”(agents)。由这些自主体以及相关的人构成的多主体系统(multi-agent systems),是未来物理和信息世界的一个缩影。其基本问题是主体(包括人)之间的协调,可细分为自主体设计、多主体体系结构、自主体合作和通讯、自动推理、规划、机器学习与知识获取、认识建模、系统生态和进化等一系列专题这些专题。有的是新提出的(如“合作”),有的是过去未能彻底解决并在新的条件下更加复杂化的(如机器学习)。

可以预计,智能控制技术必将有更广泛的和有效的发展。在应用智能控制的过程中,新方法将被发现。通过开发新工具和新算法,更成熟的应用方法最终将能允许智能控制被成功地运用到更多的领域。

参考文献

- [1] 蔡自兴 著,智能控制——基础与应用,北京:国防工业出版社,1998.
- [2] 阎平凡等编,人工神经网络与模拟进化计算,北京:清华大学出版社,2000.
- [3] 姚金毅等,Q 学习和对抗规划在 RoboCup 中的一种结合应用,RoboCup - 2001.
- [4] 殷翔,黄展翔,强化学习在仿真机器人足球踢球动作中的应用,苏州大学学报(工科版),2002,8,Vol22, No4
- [5] 孟伟,洪炳熔,韩学东,强化学习在机器人足球比赛中的应用,计算机应用研究,2002,第 6 期.
- [6] 吴丽娟,张春晖,徐心和,足球机器人决策系统推理模型,东北大学学报,2001,12,22 - 6.
- [7] 刘新宇等,基于 BDI 框架的多 Agent 动态协作模型与应用研究,计算机研究与发展,2002,7,39 - 7.